

Сучасні проблеми імітації сонячного випромінювання для випробувань фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії

Горбань А.П., Костильов В.П., Черненко В.В.

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є.Лашкарьова НАН України,
Центр випробувань ФП та БФ, м. Київ, пр. Науки, 45, e-mail: kost@isp.kiev.ua*

Андрос С.П., Назаренко Л.А.

ІНЦ „Інститут метрології”

ул. Мירוносицька, 42, Харків-61002, Україна, тел.: (+38057) 704-97-50

Останнім часом спостерігається значне посилення інтересу дослідників і розробників до проблем прямого перетворення енергії Сонця в електричну енергію, насамперед за допомогою фотоелектричних перетворювачів (ФП). Ця обставина обумовлена нагальною потребою пошуку альтернативних, екологічно чистих, поновлюваних джерел енергії, здатних замінити традиційні джерела енергії, а також широким використанням фотоелектричних сонячних батарей (СБ) для енергозабезпечення космічних літальних апаратів. В більшості промислово розвинених країн світу в останні три роки відбувається інтенсивне (~40%) щорічне нарощування фотоенергетичних потужностей.

Потреба в розвитку сонячної енергетики є особливо актуальною для України у зв'язку з несприятливими екологічними умовами, відсутністю достатніх запасів нафти та газу і, в той же час, сприятливими для використання сонячних фотоелектричних установок кліматичними умовами, а також наявністю потужних напівпровідникових металургійних заводів та підприємств електронної і радіоелектронної галузей. З іншого боку, Україна, як космічна держава, має потребу самостійно розробляти і створювати фотоелектричні установки для космічних апаратів.

Зазначені обставини роблять винятково актуальною задачу метрологічного забезпечення робіт при проведенні фототехнічних випробувань ФП сонячної енергії, модулів і батарей космічного і наземного застосування, які розробляються в Україні та закуповуються за кордоном, в тому числі й з ціллю їх сертифікації.

Слід зазначити, що метрологічна атестація ФП сонячної енергії являє собою складну комплексну проблему, для розв'язку якої необхідно забезпечити:

1. Розроблення метрологічних вимог і стандартизацію умов атестації (калібрування) і випробувань сонячних елементів (ФЕП), модулів і батарей космічного і наземного використання з урахуванням міжнародних і європейських стандартів, у тому числі з метою підвищення конкурентноздатності української продукції на міжнародних ринках.
2. Розроблення і створення комплексу засобів метрологічного забезпечення вимірів з високою точністю параметрів ФП сонячної енергії щодо сонячного випромінювання в умовах АМ 0 і АМ 1,5.
3. Розроблення методів вимірів параметрів ФП і СБ і апаратних засобів для їхньої реалізації.

Перший з названих напрямків пов'язаний з розробленням стандартів, методик та іншої нормативної документації на проведення випробувань. Перший з названих напрямків пов'язаний з розробленням стандартів, методик та іншої нормативної документації на проведення випробувань. На теперішній час в Україні діє тільки два стандарти, на відміну від економічно розвинених західних країн, де чинними в галузі фотоелектричних вимірів є більше 18 стандартів міжнародної електротехнічної комісії (IEC), крім того, існує ще декілька десятків стандартів ASTM, IEEE, UC.

Другий названий напрямок пов'язаний, насамперед, з розробленням спеціалізованих світлотехнічних пристроїв (джерел світла) - високоякісних імітаторів сонячного випромінювання, що найбільш точно відтворюють його стандартні параметри: густину, однорідність і стабільність потоку, спектральний і кутовий розподіл енергії Сонця в космічних (AM0) і наземних (AM1,5) умовах.

Джерелом випромінювання більшості імітаторів позаатмосферного (AM0) Сонця є ксенонова лампа високого тиску з короткою дугою (неперервні імітатори), або з довгою дугою (імпульсні імітатори). Спектр ксенонової лампи коригується інтерференційними світлофільтрами. Імітування наземного (AM1,5) Сонця є ще більш складною задачею. Складність полягає в тому, що інтенсивність та спектр сонячного випромінювання на поверхні Землі має складний характер, що залежить від великої кількості факторів: висоти Сонця над горизонтом, висоти місцевості над рівнем моря, а також стану атмосфери. Висота Сонця над горизонтом визначає оптичну довжину шляху променів в атмосфері і характеризується атмосферою масою, яка дорівнює $m = 1$ при нормальному падінні ($\alpha = 90^\circ$, умови AM1), $m = 1,5$ ($\alpha = 49^\circ$, умови AM1,5), $m = 2$ ($\alpha = 30^\circ$, умови AM2). Проходячи крізь атмосферу, сонячне випромінювання селективно поглинається водяною парою, озоном, вуглекислим газом, киснем та ін., а також розсіюється на аерозолях та молекулах газів (релеєвське розсіяння). Внаслідок цього інтенсивність та спектр сонячних натурних умов суттєво відрізняється від стандартних наземних умов, за які прийнято деякі середні умови AM1,5.

Спектральний склад випромінювання імітаторів наземного Сонця ще в більшій мірі відрізняється від стандартного спектру AM 1,5. Крім того, такі прилади є дуже складними та дорогими навіть для випробувань окремих ФП. Задовольнити вказані вимоги у випадку фотоенергетичних випробувань модулів і батарей ФП, особливо забезпечити прийнятну однорідність потоку на площі, що відповідає габаритним розмірам модуля або СБ, надзвичайно складно. Тому на практиці широке розповсюдження мають імітатори Сонця на основі вольфрамових ламп розжарення. Такі імітатори стабільні, прості, зручні в використанні, мають невисоку вартість. Проте спектральний склад їхнього випромінювання істотно відрізняється від стандартних спектрів AM0 і AM1,5, що може приводити до значних похибок у визначенні фотоенергетичних параметрів ФП і БФ.

В ІФН ім. В.Є. Лашкарьова НАН України розроблена автоматизована установка вимірювання фотоенергетичних параметрів ФП і СБ з імітатором неперервної дії на основі галогенових вольфрамових ламп розжарення. Задовільні метрологічні характеристики на цих імітаторах вдалося отримати за допомогою використання спеціально розроблених еталонних ФП і методики. Це дало можливість врахувати і зменшити похибки вимірювань, пов'язані з недостатньою спектральною корекцією світла для стандартних умов освітлення АМ0 або АМ1,5

Тому задача розроблення і метрологічної атестації еталонних ФП, виготовлених на основі різних матеріалів (Si, GaAs, багатоперехідні ФП і інш.) є дуже актуальною.

Слід зазначити, що зараз все більш широкого застосування набувають імпульсні системи вимірювання фотоенергетичних параметрів ФП і СБ наземного призначення, які визначені міжнародними стандартами ІЕС-904-9 і ІЕС-1215 в якості основних при проведенні випробувань.

Порівняно з імітаторами неперервної дії на основі ксенонових дугових ламп і галогенових ламп розжарення, імітатори на основі імпульсних ксенонових ламп-спалахів мають ряд суттєвих переваг. Основні з них наступні: спектр випромінювання таких ламп найбільш близько відповідає сонячному, за їх допомогою простіше отримати рівень енергетичної освітленості, що відповідає стандартним умовам АМ0 (1360 Вт/м^2) і АМ1,5 (1000 Вт/м^2) і забезпечити рівень однорідності просторового і часового розподілу енергетичної освітленості $\pm 2\%$, який відповідає вимогам міжнародного стандарту ІЕС-904-9 для імітаторів класу А, практично відсутнє нагрівання об'єкта випробувань (ФП або СБ) і самого імітатора, оскільки час спалаху триває декілька мілісекунд.

Разом з тим, імпульсні системи потребують розробки швидкодіючих систем реєстрації вихідних параметрів ФП і СБ, а також швидкодіючих спектрометрів для реєстрації спектрів випромінювання імпульсних ламп.

В ІФН ім. В.Є.Лашкарьова НАН України, розроблена автоматизована система вимірювання фотоенергетичних параметрів СБ з імітатором на основі імпульсної ксенонової лампи-спалаху, яка відповідає вимогам наведених вище стандартів. Система призначена для перевірки працездатності і визначення фотоенергетичних параметрів СБ встановленою потужністю до 320 Вт на різних етапах їх виготовлення і штатної експлуатації. В даний час в завершальній стадії знаходиться розроблення програми метрологічної атестації на неї.

Щодо третього названого напрямку можна сказати, що цілий ряд наукових, технічних та технологічних проблем, пов'язаних з ним, в Україні практично не вирішений. Зокрема, в Україні на теперішній час існує лише дві лабораторії – в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України (ІФН) та в Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського “ХАІ” (м. Харків), де були створені і на належному рівні атестовані метрологічні бази, які дозволяють кваліфіковано вимірювати ефективність ФП і зібраних на їх основі СБ в стандартних умовах.

В ІФН створений в 2002 р. єдиний в Україні атестований Державним комітетом України з питань технічного регулювання та споживчої політики Центр випробувань фотоперетворювачів та батарей фотоелектричних. Основою Центру є комплекс сертифікації ФП, фотоелектричних модулів і СБ, в склад якого входять автоматизовані вимірювальні установки: установка для визначення відносної спектральної характеристики фотоперетворювачів (УВВСХ), установка фототехнічних випробувань ФП (УФВ), установка для електричних і фототехнічних випробувань СБ (УЕФВ) і згадувана вище імпульсна система вимірювання фотоенергетичних параметрів СБ.

Всі зазначені установки і еталонні перетворювачі атестовані та повіряються в ННЦ «Інститут метрології».